

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-151612

(43) 公開日 平成6年(1994)5月31日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/90	P	7514-4M		
	K	7514-4M		
	S	7514-4M		
21/265		8617-4M	H 0 1 L 21/265	W
			審査請求 未請求	請求項の数 5 (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平4-295230

(22) 出願日 平成4年(1992)11月4日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72) 発明者 小林 倫子

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(72) 発明者 福山 俊一

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(72) 発明者 大倉 嘉之

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 青木 朗 (外2名)

(54) 【発明の名称】 半導体装置の製造方法

(57) 【要約】

【目的】 多層配線構造を有する半導体装置の製造方法に関し、信頼性の高い半導体装置の製造が可能な方法の提供を目的とする。

【構成】 下層配線層上に有機ケイ素重合体の平坦化用樹脂層を形成し、この樹脂層上にイオンビームアシストによる真空蒸着又は高周波励起によるイオンプレーティングにより無機材料膜を形成することによって層間絶縁膜を形成する。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の配線層とそれらの間に配置された層間絶縁膜とから構成される多層配線構造を有する半導体装置を製造する方法であって、下層配線層上に有機ケイ素重合体により平坦化用樹脂層を形成し、次いでこの樹脂層上に、イオンビームアシストによる真空蒸着又は高周波励起によるイオンプレーティングによって無機材料膜を形成して層間絶縁膜を形成する工程を含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項2】 前記イオンビームアシストによる真空蒸着を被蒸着基板表面の電荷を中和しながら行うことを特徴とする、請求項1記載の方法。

【請求項3】 前記高周波励起によるイオンプレーティングをイオンビームアシストを行いながら行うことを特徴とする、請求項1記載の方法。

【請求項4】 平坦化用樹脂層を形成する前記有機ケイ素重合体がシルフェニレン樹脂であることを特徴とする、請求項1から3までのいずれか一つに記載の方法。

【請求項5】 前記無機材料膜が二酸化シリコンの膜であることを特徴とする、請求項1から4までのいずれか一つに記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、半導体装置の製造方法に関する。より詳しく言えば、本発明は、複数の配線層とそれらの間に配置された層間絶縁膜とから構成される多層配線構造を有する半導体装置の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年のIC、LSI等の集積度の高い半導体装置においては、集積度の向上に伴い、素子形成後の表面段差が大きくなるとともに、配線の微細化による配線容量の低下を防ぐために配線を厚くする必要にせまられる結果として、配線後の段差も激しくなる傾向がある。このため、第N層配線を施した後に絶縁膜を介して第N+1層配線を施して多層配線を形成する上で、優れた平坦性が得られる層間絶縁膜の形成が必要となっている。

【0003】 従来、層間絶縁膜の材料としては、二酸化ケイ素、窒化ケイ素、PSG等の無機材料、あるいはポリイミド、シリコン樹脂などの有機系高分子絶縁材料、又は、これらの無機材料と有機系高分子材料との積層体が用いられてきた。

【0004】 半導体装置の製造における多層配線工程では、素子間に配線を施した半導体基板表面は配線による凹凸により段差を有するので、これを下地としてその上に化学気相成長(CVD)法等によって無機膜を層間絶縁膜として形成すると、この層間絶縁膜の表面は下地の凹凸をそのまま再現してしまう。この凹凸は、その上に形成される上層配線の断線や絶縁不良の原因となる。従って、凹凸を有する下地上に形成した層間絶縁膜が基板

表面を平坦になしうることが望まれていた。そこで、エッチバック法、バイアススパッタ法等の絶縁膜製造プロセス上から平坦面を得る方法と、樹脂をスピコート法により成膜して平坦な絶縁膜を得る方法が検討されてきた。

【0005】 これらの方法の中でプロセス的に簡単な樹脂塗布法は、樹脂を塗布した後に加熱硬化させる必要がある。また、従来から用いられてきたシリコン系ハードコート材料は、硬化後にシリコン酸化膜に近い低熱膨張率の材料となり、硬化反応による膜の内部歪と熱衝撃とによりクラックが発生しやすいため、薄膜でしか使用できず、そのためこの材料で形成された膜は電氣的絶縁性が低いという問題がある。一方、ポリイミド樹脂やケイ素樹脂などは、400℃程度の温度で有機基が酸化されたり、熱分解されたりして、膜の歪によりクラックが発生するという欠点を有している。

【0006】 このように、有機系高分子材料を集積度の進んだ半導体装置の多層配線の層間絶縁膜材料として単独で使用するのには難しいことである。そこで、平坦化層としての樹脂膜の上に更にSiO<sub>2</sub>などの無機材料膜を形成して層間絶縁膜とする方法が検討されており、この無機材料膜の形成のためには真空蒸着法やプラズマCVD法が用いられている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 真空蒸着法では、形成された膜に一般にピンホールが生じやすいので、SiO<sub>2</sub>のような高融点の無機物を十分な電氣的絶縁性を持つ膜とするためには樹脂膜の付いた基板を高温にし、膜厚を1μm以上としなければならない。そのために、真空蒸着法では膜の作製に時間がかかり、集積回路の熱伝導特性を低下させ、特性劣化を招くなどの問題が生じている。

【0008】 一方、プラズマCVD法では、真空蒸着法に比べて緻密なSiO<sub>2</sub>膜が得られるためSiO<sub>2</sub>膜厚は数千Åでよいものの、膜形成時に印加されるプラズマによって下地である樹脂膜が酸化されてしまう結果平坦化層にクラックが生じてしまったり、無機膜と緻密でない樹脂膜との密着性が低いため、後の上部層形成工程で必要な高温加熱、エッチング等の処理の際に無機膜が樹脂膜から剥がれてしまう等の問題があった。

【0009】 本発明は、これらの諸問題を解決して、半導体装置の多層配線工程で生じる段差の平坦化が可能であるとともに、平坦化用下地樹脂膜にクラック等を生じさせることなく、且つその下地樹脂膜上にSiO<sub>2</sub>のような無機材料膜を十分に密着させて形成して層間絶縁膜を作製することができる半導体装置の製造方法を提供し、信頼性の高い半導体装置の製造を可能にするのを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】 本発明の半導体装置の製

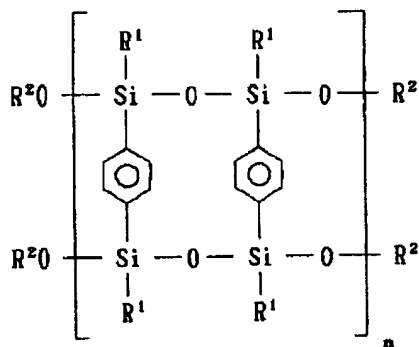
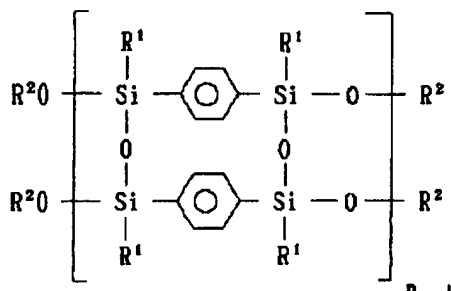
造方法は、複数の配線層とそれらの間に配置された層間絶縁膜とから構成される多層配線構造を有する半導体装置の製造方法であって、下層配線層上に有機ケイ素重合体により平坦化用樹脂層を形成し、次いでこの樹脂層上に、イオンビームアシストによる真空蒸着又は高周波励起によるイオンプレーティングによって無機材料膜を形成して層間絶縁膜を形成する工程を含むことを特徴とする。

【0011】本発明の方法においてイオンビームアシストによる真空蒸着で無機材料膜を形成する際には、被蒸着基板表面の電荷をニュートライザにより中和してもよい。また、無機材料膜を高周波励起によるイオンプレーティングで形成する際には、イオンビームアシストを行ってもよい。

【0012】平坦化用の下層を形成するために用いられる有機ケイ素重合体は、耐熱性を有するとともに、下地配線層の表面段差を良好に平坦化することができるように熱硬化の際に低温で熔融する性質を有し、熱衝撃によるクラックが発生しにくいものであることが望ましい。このような有機ケイ素重合体の代表的なものはシルフェニレン樹脂（ポリシルフェニレンシロキサン）である。シルフェニレン樹脂は、ケイ素原子が酸素原子を介し、またフェニレン基を介して結合された網状構造の高分子物質であって、下記一般式で表される。

【0013】

【化1】



【0014】この式において、 $\text{R}^1$  は互いに他と同一であってもよく相異なってもよく、それぞれ低級アル

キル基又はフェニル基を表し、 $\text{R}^2$  はトリオルガノシリル基を表す。また、 $n$  は、この有機ケイ素重合体の重量平均分子量が5,000~5,000,000となるような値の数を表す。この範囲外の分子量の重合体を用いると、層間絶縁膜の平坦化樹脂層を都合よく形成することが困難になる。重合体の重量平均分子量は好ましくは10,000~500,000である。

【0015】上記の一般式で表されるシルフェニレン樹脂は、例えば、 $\text{R}^1$  で表される低級アルキル基又はフェニル基と、アルコキシ基のような加水分解可能な基とがケイ素原子に結合しているシリル基を二つ有するジシリルベンゼンを加水分解し、次いで脱水縮合して容易に調製することができる。

【0016】層間絶縁膜の上層を構成する無機材料膜は、好ましくは二酸化シリコン ( $\text{SiO}_2$ ) の膜である。

【0017】

【作用】本発明の方法で使用される有機ケイ素重合体は、低温で熔融する性質があるため熱硬化の際に容易に流動化して、下地の配線層の表面段差を良好に平坦化する。しかもこの樹脂は、熱衝撃によるクラックが発生しにくく、厚膜での使用をも可能にする。

【0018】更に、シルフェニレン樹脂のような有機ケイ素重合体は耐酸化性に優れており、そのためこのような有機ケイ素重合体を用いることは、通常レジスト剥離工程で使用されているバレルタイプのエッチング装置の使用を可能にする。

【0019】イオンビームアシストによる真空蒸着は、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$  Torrの真空中でアルゴン等の不活性ガスをイオンビームとして基板に照射しながら  $\text{SiO}_2$  などの成膜物質の蒸着を行うものである。基本的には、イオンビームの持つ運動エネルギーを  $\text{SiO}_2$  分子などの成膜物質が基板上に堆積するときの配列に利用し、そのため内部応力の小さな、従って緻密で配列性の高い膜の形成を可能にする。また、得られる膜の内部応力が小さいため、樹脂膜上にピンホールのない無機材料膜を一様に成膜できるため、マクロ的に無機材料膜の樹脂膜との密着強度を大きくする。

【0020】イオンビームアシストによる真空蒸着で無機材料膜を形成する際にニュートライザを使用することは、不活性ガスイオン、例えば  $\text{Ar}^+$  イオンの照射によりチャージアップ現象のために被処理基板表面に蓄積した正の電荷が、継続して基板表面へ照射される不活性ガスイオンと反発を起こすのを解消する目的で基板表面の電荷を中和するのに役立つ。

【0021】高周波励起によるイオンプレーティングは、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$  Torrの真空中でアルゴン等の不活性ガスをキャリアガスとして用い、加熱蒸発させた  $\text{SiO}_2$  などの成膜物質をこのキャリアガスで基板上に運ぶものであって、被処理基板に到達する前に高周波励起によ

りキャリアガスをイオン化し、接地状態あるいは負にバイアス帯電させた基板との間に電位勾配をつけ、基板に対し $\text{SiO}_2$ などの成膜物質をキャリアガスとともに加速して蒸着する方法である。

【0022】この方法によればアルゴン等のキャリアガスイオンが基板に対しまっすぐに指向性良く加速されるため、下地となる樹脂膜はごく薄い表層部分のみ、例えば表面から数 $\mu\text{m}$ 程度の深さまでの部分のみが酸化されるだけで、プラズマCVDによるように膜内部にまで達する酸化は生じない。また、高周波イオンプレーティングによる成膜の特徴の一つとして、基板表面に凹凸や大きな段差があっても、指向性良く加速されたビームによって基板表面全体に万遍なく一様に蒸着できること、いわゆる回り込み特性が高いことが上げられ、この特性も本目的に合致しており、マクロ的に樹脂膜との密着強度の高い無機材料膜の形成を可能にする。

【0023】高周波励起によるイオンプレーティングで無機材料膜を成膜する際にイオンビームアシストを行うことは、 $\text{SiO}_2$ などの成膜物質を堆積させる被処理基板上にイオンビームを照射することによりそのイオンの運動エネルギーが成膜物質の分子の配列性を高め、そのため非常に緻密な、特に酸処理に対して強い膜の形成を可能にする。

【0024】

【実施例】次に、実施例により本発明を更に説明する。言うまでもなく、以下に掲げる実施例は本発明を例示するためのものであって、本発明を限定しようとするものではない。

【0025】実施例1

この例では、多層配線の層間絶縁膜として使用するためのシルフェニレン樹脂の合成を説明する。

【0026】1、4-ビス（メチルジエトキシシリル）ベンゼン35gとメタノール20gとの混合系に硝酸を添加し、次いで水7gを滴下して50℃で3時間攪拌を行い、出発物質の1、4-ビス（メチルジエトキシシリル）ベンゼンを脱水縮合させてポリマーを生成した。

【0027】この反応溶液を冷却後、メチルイソブチルケトン（MIBK）150gを加え、静置して水層を除き、更に十分な水洗を行った。水洗後のMIBK溶液にトリエチルアミン50gとフェニルジメチルクロロシラン80gを加え、70℃に加熱して2時間攪拌しながらシリル化を行い、ポリマー末端のヒドロキシル基をシリルオキシ基に変えた。

【0028】次いで、反応溶液を冷却し、水層を除き、そして更に十分な水洗を施した。水洗後のMIBK溶液にメタノールを加えてポリマーを沈殿させ、そしてこのポリマーをベンゼンに溶解させてから凍結乾燥を施して粉末のシルフェニレン樹脂を得た。この樹脂の重量平均分子量はおおよそ10,000であった。

【0029】実施例2

実施例1で合成した樹脂粉末のメタノール溶液を、半導体素子を形成し第一層アルミニウム配線を施したシリコン基板（配線厚1 $\mu\text{m}$ 、最小線幅1 $\mu\text{m}$ 、最小線間隔1 $\mu\text{m}$ ）上にスピコート法により塗布した。塗布後150℃で15分間溶剤乾燥を行い、次いで450℃で1時間の熱処理を施して、1.5 $\mu\text{m}$ の膜厚に成膜した。熱処理後の基板表面の段差は0.2 $\mu\text{m}$ 以下であり、第一層アルミニウム配線により生じた段差は平坦化されていた。

10 【0030】こうして樹脂層を設けた基板上に、以下のようにして $\text{SiO}_2$ 膜を成膜した。 $\text{SiO}_2$ の成膜のために用いた真空蒸着装置を図1に示す。この図において、1は真空槽、2はドーム、3は基板、4は蒸発源、5はイオン銃、6はイオン銃のシャッター、7はハロゲンランプ、8はニュートライザ、9は電源コントロールユニット、10はガスコントロールユニット、11は酸素入口、12は排気系への接続管である。

20 【0031】この真空蒸着装置の真空槽1内のドーム2に上記の樹脂層を設けた基板3を固定した。固定後、 $1 \times 10^{-6}$ Torrまで排気し、次いで真空槽1内の圧力を $5 \times 10^{-5}$ Torrに保ったままイオン銃5からArイオンビームを30秒間基板3に照射し、基板3表面のボンバードメントを行って清浄化した。次に基板3にハロゲンランプ7でランプ照射し、基板表面温度を300℃に設定した後、酸素ガスを10cc/sの流量で真空槽1内に導入した。また、ガスコントロールユニット10にArガスを3cc/sの流量で導入し、イオン加速電圧を500V、電流値を50mAに設定して発生させたArイオンビームを基板3に照射しながら、電子銃により加熱される蒸発源4から $\text{SiO}_2$ を25Å/sの速度で基板3上へ蒸着させた。蒸着中槽内の真空度は $5 \times 10^{-5}$ Torrに保ち、Arイオンビーム照射による基板表面のチャージアップを避けるために、イオンビーム照射と同時にニュートライザ8を用いて電荷の中和を行った。

40 【0032】得られた $\text{SiO}_2$ の膜厚は5000Å、屈折率は1.45であり、バルク状の $\text{SiO}_2$ の屈折率1.45と同等の緻密な膜が得られていることが分かった。なお、イオンビームアシストなしの真空蒸着で成膜した $\text{SiO}_2$ の屈折率は1.35程度である。 $\text{SiO}_2$ 膜形成後、光学顕微鏡により樹脂膜ならびに $\text{SiO}_2$ 膜のクラックの有無を調べたところ、全く観測されなかった。

50 【0033】次に、400℃～室温の熱サイクルショック試験を行ったところ、無機材料膜をプラズマCVD等で作製した場合には下層樹脂膜に無数のクラックが生じるのに対し、この例で形成した樹脂膜にはクラックの発生は見られなかった。また、フッ酸によるエッチング処理では、従来の方法を使用した場合には $\text{SiO}_2$ 膜あるいは樹脂膜の剥離が生ずるのに対し、この例で形成した膜では全く剥離は生じなかった。

【0034】熱サイクルショック試験とエッチング処理を行ってから、更に電気絶縁性試験を行ったところ、この例で作製した絶縁膜の絶縁性が多層配線の層間絶縁膜として使用するのに十分なものであることが確認できた。

### 【0035】実施例3

実施例2でイオンビームアシストによる真空蒸着でSiO<sub>2</sub>膜を形成するのに用いたのと同様の、シルフェニレン樹脂膜を施した被処理基板を使用して、以下に説明するようにイオンプレーティングによりSiO<sub>2</sub>膜の成膜を行った。

【0036】使用したイオンプレーティング装置を図2に示す。この図において、21は真空槽、22はドーム、23は基板、24は蒸発源、25は高周波励起コイル、26はハロゲンランプ、27は高周波電源、28はマッチングボックス、29は直流電源、30はアルゴンガス入口、31は排気系への接続管である。

【0037】このイオンプレーティング装置の真空槽21内のドーム22に、樹脂膜を施した基板23を固定した。固定後、 $1 \times 10^{-6}$  Torrまで排気し、そして高周波(13.56MHz)出力100W、アルゴンガス圧力 $2 \times 10^{-4}$  Torr下で、基板表面のボンバードメントを行って清浄化した。次に基板23にハロゲンランプ26でランプ照射し、基板表面温度を300℃に設定した後、構内圧力を $2 \times 10^{-4}$  Torrに保ったまま酸素ガスを10cc/sの流量で真空槽21内に導入した。この状態で、高周波出力を1KWとし、キャリアガスのアルゴンを励起し、電子銃により加熱される蒸発源24からSiO<sub>2</sub>を基板に蒸着した。蒸着速度は20Å/s、最終膜厚は5000Åとした。

【0038】得られたSiO<sub>2</sub>の屈折率は1.42であり、バルク状のSiO<sub>2</sub>の屈折率1.45とほぼ同等の膜が得られ、薄膜においてもバルクと同等の緻密な膜が得られていることが分った。また、SiO<sub>2</sub>膜形成後、光学顕微鏡により樹脂膜ならびにSiO<sub>2</sub>膜のクラックの有無を調べたところ、全く観測されなかった。

【0039】次に、常法に従ってスルーホール形成を行った後、パレルタイプのエッチング装置を用いてレジスト剥離を行ったところ、酸化によるクラックや膜の後退等は全く観測されなかった。続いて2層目配線を施し、カバー膜としてCVD法でPSG膜を形成し、半導体装置を試作した。

【0040】この半導体装置を用いて400℃～室温の熱サイクルショック試験を行った後、200℃での高温放置試験を行ったところ、1000時間後も全く不良は見られなかった。

【0041】なお、この例で用いた図2に示した装置において、基板側を負に帯電させることによってイオンの加速効果を上げて、より密着度の強い膜を得ることができる。

### 【0042】実施例4

図3に示す装置を使用して、イオンビームアシストを行うイオンプレーティングにより、シルフェニレン樹脂膜を備えた被処理基板上にSiO<sub>2</sub>膜を形成する。図3において、図2に示した装置の部材と対応するものには同じ参照数字が付してある。また、同図中、41はイオン銃、42はイオン銃のシャッタ、43はイオン銃に接続されたガスコントロールユニットであり、44は蒸発源24及びイオン銃41用の電源コントロールユニットである。

【0043】この場合の操作は基本的に上述の実施例3と同じであるが、蒸着の際、槽内圧力を $8 \times 10^{-5}$  Torr程度とし、高周波イオンプレーティングを発振させながら、且つ基板上にイオンビームを照射することによってSiO<sub>2</sub>を成膜する。イオンビーム照射により、イオンの運動エネルギーがSiO<sub>2</sub>堆積の際にSiO<sub>2</sub>分子の配列性を高め、非常に緻密な、特に酸処理に対して強い膜ができる。なお、図3に示した装置においても、基板側を負に帯電させることによってイオンの加速効果を上げ、より密着度の強い膜を得ることができる。

### 【0044】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によれば、半導体装置の多層配線工程で生じる段差の平坦化が可能になり、また、平坦化用下地樹脂膜上に、その樹脂膜にクラック等を生じさせることなく、且つ熱衝撃や、熱処理等の後工程処理に十分耐えうる密着強度を持つ高品質の低誘電率無機誘電体膜を形成することができる。こうして形成された、平坦化用下地樹脂膜とその上の無機材料膜とから構成される層間絶縁膜は、無機材料膜を用いて形成された従来の層間絶縁膜と同等の絶縁特性を保持することができるので、信頼性の高い半導体集積回路等の半導体装置の製造が可能となる。

【0045】また、有機基を有する通常の樹脂から作られた膜は、スルーホール形成後のレジスト剥離工程でスルーホール部に露出された側面が剥離液のために酸化されるのを防止するため、高価なECREッチング装置を使用して樹脂膜のダメージを抑制する必要があったのに対し、本発明に従って耐酸化性に優れたシルフェニレン樹脂を用いることによって、通常のレジスト剥離工程で使用されているパレルタイプのエッチング装置を使用することが可能になる。

### 【図面の簡単な説明】

【図1】イオンビームアシストによる真空蒸着装置を説明する模式図である。

【図2】高周波励起によるイオンプレーティング装置を説明する模式図である。

【図3】イオンビームアシストによる高周波励起イオンプレーティング装置を説明する模式図である。

### 【符号の説明】

1, 21…真空槽

(6)

特開平6-151612

9

10

3, 23...基板  
4, 24...蒸発源  
5, 41...イオン銃

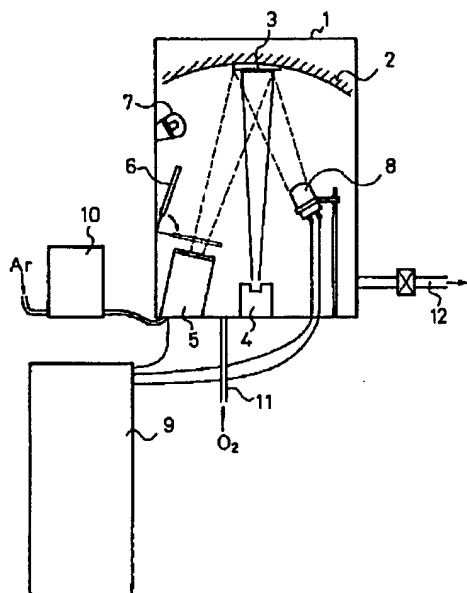
8...ニュートライザ  
25...高周波励起コイル

【図1】

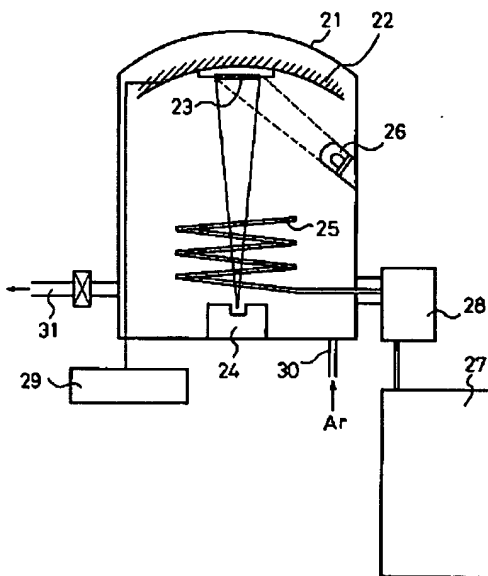
【図2】

イオンビームアシストによる真空蒸着装置の模式図

高周波励起によるイオンプレーティング装置の模式図



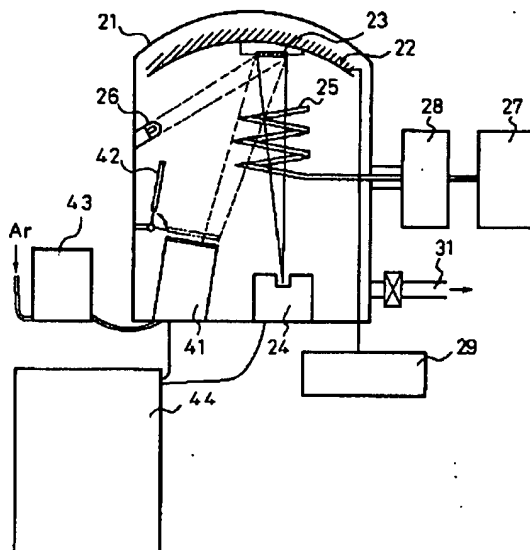
1...真空槽  
2...ドーム  
3...基板  
4...蒸発源  
5...イオン銃  
6...シャッター  
7...ハロゲンランプ  
8...ニュートライザ  
9...電源コントロールユニット  
10...ガスコントロールユニット  
11...酸素入口  
12...排気管



21...真空槽  
22...ドーム  
23...基板  
24...蒸発源  
25...高周波励起コイル  
26...ハロゲンランプ  
27...高周波電源  
28...マッチングボックス  
29...直流電源  
30...アルゴンガス入口  
31...排気管

【図3】

イオンビームアシストによる高周波励起イオンプレーティング  
装置の模式図



- |             |                 |
|-------------|-----------------|
| 21…真空槽      | 28…マッチングボックス    |
| 22…ドーム      | 29…直流電源         |
| 23…基板       | 31…排気管          |
| 24…蒸発源      | 41…イオン銃         |
| 25…高周波励起コイル | 42…シャッター        |
| 26…ハロゲンランプ  | 43…ガスコントロールユニット |
| 27…高周波電源    | 44…電源コントロールユニット |